

# Aplikácia pokročilých metód modelovania v požiarnom inžinierstve

## Application of Improved Methods in Fire Engineering

Ing. Romana Erdélyiová

doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva

1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovensko

romana.erdelyiova@fbi.uniza.sk, bohus.leitner@fbi.uniza.sk

### Abstrakt

Rozoznávame mnoho faktorov ovplyvňujúcich vnútorný požiar. Dôležitý je rozmer a geometria priestoru, existencia a veľkosť vetracích otvorov, náhodné a stále požiarne zaťaženie. Vývoj požiaru vo veľkopriestorovom požiarnom úseku sa výrazne líši od vývoja požiaru v malom priestore. V prípade veľkopriestorových hál sa pri navrhovaní konštrukcii často postupuje pomocou tzv. performance-based prístupu. Pokročilé metódy je možné využiť vo všetkých častiach návrhu pre: predpoveď priebehu teploty v priestore a čase, výpočet prestupu tepla do konštrukcie a na posúdenie mechanického chovania konštrukcie alebo jej časti počas požiaru. Príspevok opisuje najnepriaznivejší variant požiaru v skúmanom priestore halového objektu určeného na skladovanie. Vybraný požiarny scenár je riešený pomocou softvéru FDS (Fire Dynamics Simulátor).

### Kľúčové slova

FDS, flashover, požiar, požiarny scenár, tepelné namáhanie.

### Abstract

There are many factors affecting the internal fire. The important thing is the dimension and the geometry of space, the existence of openings, accidental, and still fire load and other. In large-space objects, to design structures under the fire load often proceeds through a performance-based approach. Advanced methods can be used in all parts of the design - in predicting of the scatter of temperature field, in calculating of the heat transfer to the structure and in assessing of the mechanical behavior of the structure or its part under the fire load. The prediction of the gas temperature in the fire compartment is crucial for the structure design. The paper describes the worst fire scenario in the large-space building. The problem is solved by using FDS (Fire Dynamics Simulator).

### Keywords

FDS, flashover, fire, fire scenario, fire load.

### Úvod

Požiare v stavbách sú javom, ktorý negatívne vplyva na život a zdravie osôb vyskytujúcich sa v týchto priestoroch, ako aj na poškodenie majetku a životného prostredia. Národné predpisy definujú presné postupy ako riešiť požiarnu bezpečnosť stavieb, avšak v súčasnosti sa vo svete ako možná alternatíva čoraz častejšie aplikujú práve počítačové modely požiarov (Ewer, 2010). Zjednodušenia, ktoré sú využívané pri riešení požiarnej bezpečnosti stavieb ako aj v oblasti dynamiky rozvoja požiaru a počítačového modelovania musia spĺňať predpoklad, že bezpečnosť osôb, respektíve skúmaná problematika javov sprevádzajúcich požiare je aj po zjednodušení stále zachovaná. Využitie moderných počítačov s vysokým výpočtovým výkonom umožňuje pomocou vhodných programových nástrojov riešiť aj tie problémy, ktoré boli doposiaľ neriešiteľné, respektíve pri nich dochádzalo vplyvom vysokého

zjednodušenia pri výpočtoch k chybám a kvalita výstupov bola následne neadekvátne (Wald, 2016). V oblasti požiarného inžinierstva sa už pred desiatkami rokov začali venovať vývoju rôznych požiarnych modelov, ktoré umožnili využiť práve vysoký výpočtový výkon počítačov na modelovanie požiaru v uzatvorenom priestore a pomáhali tak presnejšie predvídať cesty šírenia požiaru a dymu spolu s ďalšími fenoménmi sprevádzajúcimi nekontrolovateľné horenie v stavbách. Využitie takýchto modelov má ale svoje pravidlá a viaceré obmedzenia (Wang, 2013).

### Požiar v uzatvorenom priestore

Požiare v uzatvorenom priestore stavieb závisia predovšetkým od samotnej geometrie priestoru, plochy, odvetrania, druhu a množstva paliva, pričom prebiehajú v nasledujúcich fázach (Obr. 1) (Walton, 2016):

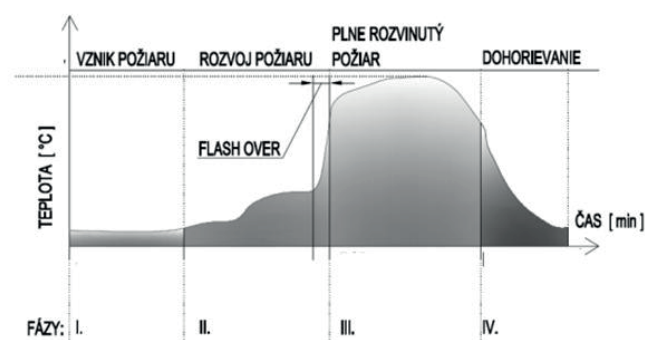
**Iniciácia:** je proces spôsobený exotermickou reakciou a je charakterizovaný nárastom teploty, ktorá značne prevyšuje teplotu okolitého prostredia.

**Rozvoj požiaru:** po iniciácii rastie požiar ako funkcia paliva s minimálnym vplyvom vonkajších podmienok. Ak je v priestore dostatok paliva a oxidačného prostriedku, tak požiar zvyšuje svoju intenzitu, ktorú ovplyvňuje reakcia materiálov na oheň.

**Vzplanutie priestoru:** nazývané tiež „flashover“ je prechod medzi fázou rozvoja požiaru a plne rozvinutým požiarom, kedy sa predpokladá horenie všetkých horľavých látok miestnosti.

**Plne rozvinutý požiar:** počas tejto fázy dosahuje rýchlosť uvoľňovania tepla najvyššie hodnoty a dôležitá je odolnosť konštrukcii.

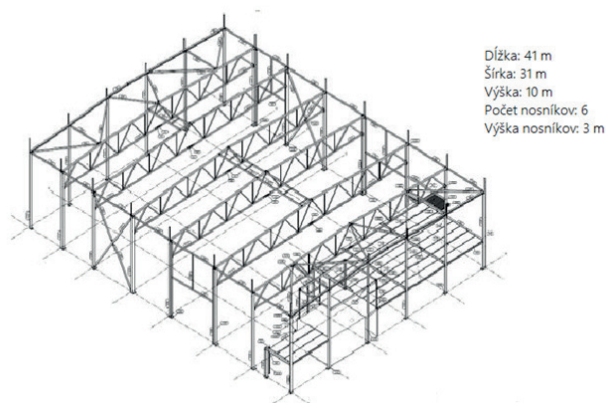
**Dohorovanie:** je poslednou fázou a nastáva vtedy, kedy v uzatvorenom priestore došlo k spáleniu všetkých horľavých látok a rýchlosť uvoľňovania tepla spolu s teplotou v priestore klesá.



Obr. 1 Fázy požiaru

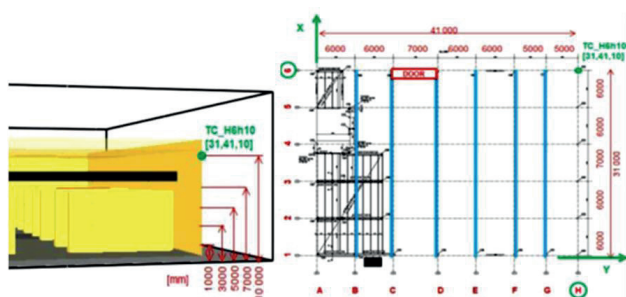
### Geometria skúmaného objektu

Halový objekt bol vybraný na základe výskumu v rámci medzinárodného projektu. Je navrhnutý tak, aby zobrazoval najpoužívanejší typ stavby v krajinách zapojených v projekte: Fínsko, Veľká Británia, Nemecko, Maďarsko a Česká republika (Obr. 2).



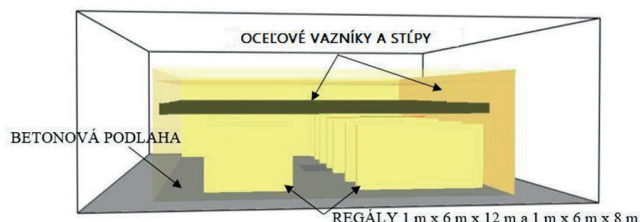
Obr. 2 Geometria skúmaného objektu

Sledovaným parametrom požiarneho scenára je rozloženie teploty plynov, ktoré bolo uskutočnené vďaka plášťovým termočlánkom (THERMOCOUPLE) inštalovaných v skúmanom objekte v niekoľkých pozíciách (Obr. 3). Celkovo bolo simulovaných 153 senzorov s vlastnosťami materiálu Inconel 600, hustotou  $8470 \text{ kg/m}^3$  a mernou tepelnou kapacitou  $0,444 \text{ kJ/(kg.K)}$ . Jednotlivé termočlánky v zdrojovom kóde sú označené na základe ich umiestnenia. Označenie termočlánku H6h10 znamená, že sa nachádza v pôdorysnej časti H6 (podľa osí) vo výške 10 m nad podlahou.



Obr. 3 Umiestnenie termočlánkov

V rámci výskumu požiarneho scenára je nevyhnutné správne definovať požiarne zaťaženie v priestore. Rozoznávame dva druhy požiarneho zaťaženia: stále a náhodné požiarne zaťaženie. Stále požiarne zaťaženie je tvorené materiálom konštrukcií, stien, podláh. Náhodné požiarne zaťaženie zase skladovaným materiálom, nábytkom atď. (Obr. 4) (STN 730821, 1973).

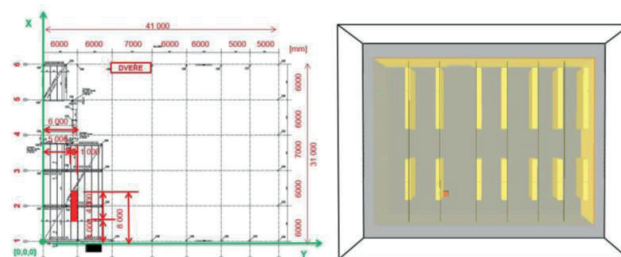


Obr. 4 Stále požiarne zaťaženie objektu

### Požiarne scenár

Požiarnym scenárom rozumieme, podrobný popis všetkých podmienok ovplyvňujúcich iniciáciu horenia, proces horenia a šírenie spľodín horenia. Požiarne scenár je zameraný na simuláciu šírenia požiaru v skúmanom halovom objekte. Faktory ovplyvňujúce rýchlosť a smer šírenia požiaru sú: množstvo a typ požiarneho zaťaženia, požiarotechnické a chemické vlastnosti

horľavých látok vyskytujúcich sa v priestore. Požiarne zaťaženie je simulované formou PET fliaš zabalených v kartónových boxoch, uložených na paletách, pričom všetky palety sú uvažované ako horľavé. Požiar je modelovaný na ploche  $1271 \text{ m}^2$ , na ktorej je umiestnených 35 regálov so vzájomnými odstupmi 5 m. Zdrojom iniciácie (bodový zdroj požiaru s plochou  $1 \text{ m}^2$ ) je horák simulujúci horenie horľavej kvapaliny (kerosín). Obrázok (Obr. 5) zobrazuje umiestnenie zdroja požiaru v priestore.

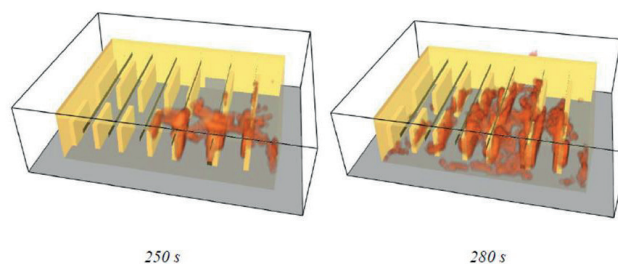


Obr. 5 Umiestnenie zdroja požiaru

Vybranou horľavou kvapalinou bol kerosín (technický petrolej), nakoľko v podobných prevádzkach sa využíva na čistenie strojných súčastí. Energia uvoľňovaná horákom je simulovaná tak aby bola v súlade s ramp funkciou. Počas prvých 300 s výkonu horáka sa uvoľní energia vo veľkosti až  $900 \text{ kW/m}^2$ . Nevyhnutné bolo priradenie každému regálu prílišnú teplotu vznietenia, na základe experimentálnej štúdie. Experimentálne bola overená závislosť uvoľneného tepla od spotrebovaného kyslíka v priestore. Znížením množstva kyslíka v priestore dochádza k spomaleniu až k úplnému zastaveniu spaľovania. Zvolená výpočtová sieť vychádza z vykonanej analýzy citlivosti výpočtovej siete. Veľkosť výpočtovej siete je  $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ .

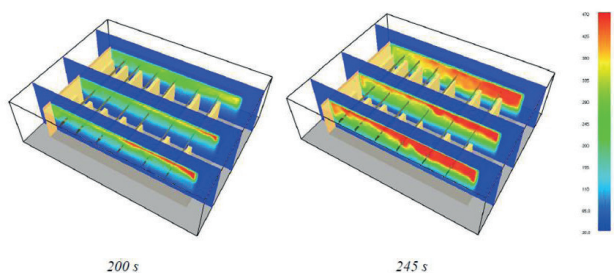
### Výsledky simulácie

Vznik požiaru je simulovaný v jednom ohnisku, neskôr môžeme pozorovať jeho šírenie. Na začiatku rýchlosť horenia je ovplyvnená iniciátorom horenia kerosínom. V prvej fáze požiaru pozorujeme horenie regálov nachádzajúcich sa v blízkosti zdroja horenia, neskôr dochádza k postupu plameňov aj na ostatné regály, nárastom sálavého tepla dochádza k zapáleniu ďalších horľavých látok. Obrázok (Obr. 6) zobrazuje vývoj požiaru v čase.



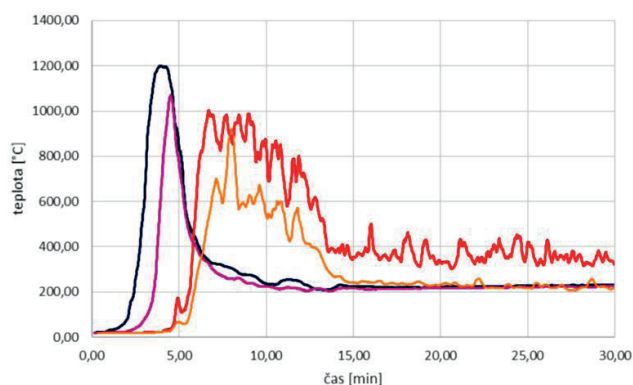
Obr. 6 Vývoj požiaru v čase 250 s a 280 s

Požiarom scenári uvažujeme o vetracom otvore vo forme dverí s rozmermi  $5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ , umiestnených na dlhšej strane skúmaného objektu. Simulovaný ventilačný otvor nedokáže ochladzovať celý priestor dostatočne, následkom čoho dochádza k hromadeniu spľodín horenia medzi oceľovými väzníkmi. S ďalším rozvojom požiaru môžeme pozorovať vznik flashover efektu, kedy prúdením horúcich plynov pozorujeme zapálenie všetkých horľavých látok vyskytujúcich sa v priestore. Obrázok (Obr. 7) zobrazuje teplotné rozdelenie priestoru prostredníctvom ISO plôch.



Obr. 7 Teplota v priestore v čase 200 s a 245 s požiaru

Pomocou termočlánkov umiestnených najbližšie k ventilačného otvoru, boli namerané nízke hodnoty, pretože dochádza k prúdeniu chladnejšieho vzduchu. K najvyšším teplotným výkonom došlo na termočlánkoch C6 a D6 vo výške 3 m nad podlahou. Najväčšie teplotné rozmery vznikajú v čase medzi 15 min a 17 min horenia, v čase flashover efektu. Počas horenia dochádza k nestabilnému pohybu horúcich plynov v priestore. Po vyhorení väčšieho množstva požiarneho zaťaženia sa rozdiel nameraných teplôt znižuje (Obr. 8, Tab. 1).

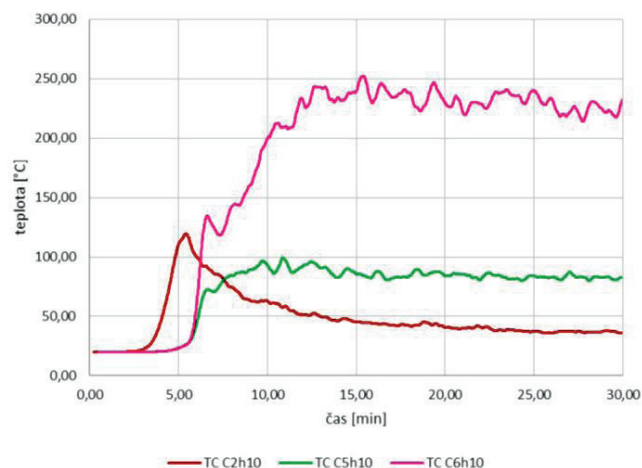


Obr. 8 Teplota plynov vo výške 3 m a 7 m nad podlahou

Tab. 1 Teplota plynov vo výške 3 m a 7 m nad podlahou

TČ	Umiestnenie	Najvyššia dosiahnutá teplota	Teplota v rôznych časoch požiaru [°C]				
			5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
C2h7	v blízkosti požiaru	1208,0 °C/4min	811,6	241,8	213,2	213,5	214,7
C6h3	oproti otvoru	1001,5 °C/6min	183,2	839,6	377,5	303,1	415,8
D2h7	v blízkosti požiaru	1080,5 °C/4min	780,9	237,6	200,6	211,7	212,9
D6h3	oproti otvoru	910,0 °C/7min	63,8	526,6	238,0	227,1	214,1

Halové priestory sú špecifické dostatočným množstvom kyslíka podporujúcim horenie (STN 1993-1-2, 2007). Horúce plyny stúpajú hore, zvyšovaním teploty sa začína zvyšovanie aj tlaku v priestore. V prípade strechy skúmaného objektu bola najvyššia nameraná teplota 262 °C v čase 15 min požiaru. Obrázok a tabuľka (Obr. 9, Tab. 2) zobrazuje vývoj teploty pod stropom miestnosti, 10 m nad podlahou objektu.

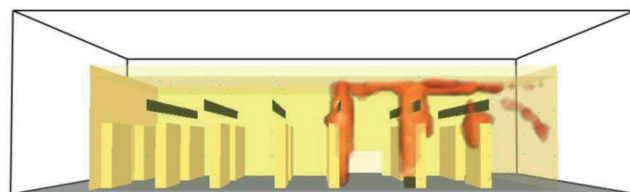


Obr. 9 Teplota plynov vo výške 10 m nad podlahou

Tab. 2 Teplota plynov vo výške 10 m nad podlahou

TČ	Umiestnenie	Najvyššia dosiahnutá teplota	Teplota v rôznych časoch požiaru [°C]				
			5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
C2h10	v blízkosti požiaru	122,0 °C/6min	120,6	61,3	48,2	45,1	40,9
C5h10	v blízkosti požiaru	98,2 °C/11min	24,9	87,8	81,7	81,5	81,7
C6h3	oproti otvoru	262,4 °C/15 min	24,9	203,0	252,5	257,1	236,3

Obrázok (Obr. 10) zobrazuje rez haly počas fázy požiaru, kedy boli namerané najvyššie hodnoty teplôt. Môžeme však predpokladať, že hodnota najvyšších nameraných teplôt je práve hodnota plameňa. Nakoľko flashover efekt spôsobil šľahanie plameňov na čidlo termočlánku.



Obr. 10 Rez halou v softvéri Smokeview v čase 230 s

## Záver

Z uvedených možností vyplýva dôležitosť modelovania požiarov a tepelného namáhania stavebných konštrukcií, ktoré sa stáva neoddeliteľnou súčasťou navrhovania konštrukcií, posudzovania protipožiarnej bezpečnosti stavieb, ako aj v oblasti ochrany osôb a majetku. Využitie moderných prístupov a nástrojov v oblasti protipožiarnej ochrany môže dopomôcť k efektívnejšej prevencii a pripravenosti likvidácie požiarov stavieb.

## Použitá literatúra

- [1] EWER, J., GALEA, E., 2010. SMARTFIRE - The Fire Field Modelling Environment 2010, The Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010 (Pereira, J. C. F., Sequeira, A., Pereira, J. M. C., eds.), Lisbon, Portugal, June 2010, ISBN 978-989-96778-1-4.

- [2] STN 73 0821: 1973 Požiarna bezpečnosť stavieb. Požiarna odolnosť stavebných konštrukcií.
- [3] STN EN 1993-1-2: 2007 Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru
- [4] WALD. F.; SOKOL. Z. 2016. Ocelové konstrukce. Praha: ČVUT. ISBN 9788001060322.
- [5] WANG, Y. 2013. Performance-based fire engineering of structures. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Spon Press. ISBN 978-0-203-86871-3.
- [6] WALTON, W. 2016. Zone Computer Fire Models for Enclosures. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [online]. New York, NY: Springer New York, 2016 [cit. 2020-01-04], s. 1024-1033. ISBN 978-1-4939-2564-3. Dostupné na: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_31